Environnement Canada
Environment Canada

Expérience acquise durant la conception, l'élaboration et la mise en application d'un système informatisé de saisie et de gestion de données pour un laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau

G.S. Beal*, F.J. Philbert† et J.E. Dowell*

*Institut national de recherche sur les eaux
Direction générale des eaux intérieures et des terres
Centre canadien des eaux intérieures
Burlington (Ontario)

†Direction de la qualité des eaux
Direction générale des eaux intérieures et des terres
Région de l'Ontario
Burlington (Ontario)

ÉTUDE N° 150, COLLECTION DES RAPPORTS TECHNIQUES

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES ET DES TERRES
RÉGION DE L'ONTARIO
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX
BURLINGTON (ONTARIO) 1987

(Available in English on request)

Publié avec l'autorisation
du ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987

N° de cat. En 36-503/150F

ISBN 0-662-94578-6

Table des matières

	Page
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
HISTORIQUE	1
COMPOSITION ET CONCEPTION DU SYSTÈME	2
MATÉRIEL SPÉCIAL DU SYSTÈME	6
LE LOGICIEL	9
LA SOLUTION FINALE	9
CONCLUSIONS	10
REMERCIEMENTS	10
RÉFÉRENCES	11

Tableaux

1. Liste des appareils mentionnés dans le document sur les caractéristiques fonctionnelles du système et devant être reliés à l'ordinateur	3
2. Nature et fréquence des rapports à produire (rapports mentionnés dans le document sur les caractéristiques fonctionnelles du système)	4

Illustration

Figure 1. Schéma fonctionnel d'AWQUALABS	7

Résumé

Certaines étapes logiques doivent être respectées dans la conception, l'élaboration et la mise en application d'un système informatisé pour un laboratoire d'analyse. Tout écart sensible par rapport à la procédure recommandée peut nuire à l'avancement du projet ou empêcher celui-ci d'atteindre ses objectifs.

AWQUALABS est un système informatisé du laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau. L'équipe qui a été chargée de concevoir et d'élaborer AWQUALABS pour le laboratoire de la Direction de la qualité des eaux d'Environnement Canada s'est vu imposer des contraintes majeures dès le départ. Nous racontons dans ce rapport comment nous avons procédé pour concevoir le système et le mettre au point, ainsi que la façon dont nous avons résolu certains des problèmes rencontrés.

Abstract

There are specific logical steps to be followed when designing, developing and implementing an automated computerized system for an analytical laboratory. Any significant deviation from the recommended procedure could potentially impede progress or lead to failure in achieving the goals set for the project.

AWQUALABS is a computer-based Automated Water Quality Analytical Laboratory System. The AWQUALABS development team, charged with the task of designing and developing an automated computerized system for the Water Quality Branch laboratory of Environment Canada, had major constraints imposed upon it from the system's inception. We recount in this report how we proceeded with the design and development of the system, some of the problems we encountered, and how we eventually managed to resolve them.

Expérience acquise durant la conception, l'élaboration et la mise en application d'un système informatisé de saisie et de gestion de données pour un laboratoire d'analyse de la qualité de l'eau

G.S. Beal, F.J. Philbert et J.E. Dowell

INTRODUCTION

Dans la plupart des processus, on constate l'existence d'un ordre naturel que l'on doit conserver autant que possible. Dans la conception et l'élaboration d'un système informatisé, cet ordre naturel consiste à déterminer d'abord les caractéristiques des applications, comme le volume des données, les débits et les calculs, puis de choisir ensuite la composition appropriée pour le matériel. Un groupe de mise en application doit être formé dès le début du projet afin de choisir les machines et les logiciels appropriés.

On trouvera ici un exposé de l'expérience que nous avons acquise dans la conception, l'élaboration et la mise en application d'un système informatisé de saisie et de gestion de données d'analyse de la qualité de l'eau en laboratoire (AWQUALABS), Laboratoire de chimie analytique, Direction de la qualité des eaux, Environnement Canada, Burlington (Ontario). Nous croyons que ce rapport devrait être utile à tous ceux qui s'intéressent à l'informatisation des opérations de laboratoire. Pour une description du système, se référer à l'Étude nº 149, Collection des rapports techniques, Direction générale des eaux intérieures et des terres (Philbert et coll., 1987).

HISTORIQUE

À la demande de la Division des opérations en laboratoire, Direction de la qualité des eaux (DQE), Administration centrale, une étude de faisabilité a été commandée à Digital Methods Ltd. (DML) qui produisit un rapport en 1974. Ce rapport démontra que l'on réaliserait des économies en informatisant les opérations dans les laboratoires régionaux de la DQE et il recommanda de mettre au point le premier de ces systèmes informatiques au laboratoire régional de l'Ontario à Burlington (Digital Methods Ltd., 1974). Ce rapport fut suivi environ un an plus tard par l'acceptation d'une proposition non sollicitée de DML, ce qui a entraîné la production d'un système préliminaire de saisie et de gestion des données accompagné d'un rapport en cinq volumes traçant les plans d'un système complet (Digital Methods Ltd., 1975). DML fit la démonstration du système au laboratoire régional de l'Ontario en 1976 dans le cadre du contrat. D'après le rapport sur la démonstration, celle-ci avait pour but de démontrer les capacités des algorithmes mis au point, mais le logiciel n'avait pas une configuration appropriée à l'usage opérationnel (Digital Methods Ltd., 1976). Ce rapport fut immédiatement suivi d'un rapport commandé par contrat à A. Demayo (1976) par le ministère des Pêches et de l'Environnement sur les spécifications fonctionnelles d'un système informatisé pour le laboratoire de l'Ontario.

En raison du manque de fonds pour continuer l'élaboration par contrat du système de saisie de données de laboratoire, il fut décidé d'avoir recours aux experts sur place. Un groupe d'étude comprenant du personnel de la Direction de la qualité des eaux et des Sections de génie électronique et de gestion des données de l'Institut national de recherche sur les eaux (INRE) a été formé en février 1977. Le développement de ce qui devait devenir le premier système de son genre à Environnement Canada a débuté trois mois plus tard, la première réunion du groupe d'étude ayant eu lieu en avril.

Le groupe d'étude a été chargé d'élaborer un système pilote en deux phases. Le programme de la phase I consistait à élaborer en moins d'un an, pour les laboratoires de la DQE, un système de saisie de données en temps réel et de prétraitement et d'analyse de données brutes. Un ordinateur PDP 11/34 de Digital Equipment (DEC) avec une mémoire d'une capacité de 32K mots, deux unités de disques de 1.2M mot et un système d'exploitation RT-11, a été utilisé à cette fin. En plus de permettre l'introduction manuelle des données, le système devait comporter deux spectrophotomètres d'absorption atomique, deux auto-analyseurs Technicon® à trois voies, un chromatographe gazeux avec processeur Spectra Physics 4000 (CG/SP-4000), un analyseur CHN Hewlett-Packard et un analyseur de carbone

organique total dissous, tous reliés en direct, à la fin de la phase I. La phase II du projet devait porter sur les fonctions de gestion des données, y compris l'organisation, la gestion et la production de rapports sur les résultats analytiques obtenus par le laboratoire. Le système élaboré devait pouvoir être agrandi et modifié selon les besoins et être transférable à quatre autres laboratoires régionaux de la DQE au Canada, dont certains ayant déjà un ordinateur série PDP-11.

Le budget du projet pour la première année prévoyait un investissement de capital de 30 000 $, des dépenses d'exploitation et de maintenance de 4500 $ et des ressources de 2.96 années-personnes pour les programmeurs et les analystes fonctionnels (53 000 $ en salaires). Le coût total de développement du système est évalué à 1.2 million de dollars. Ceci comprend toutes les activités connexes, y compris la maintenance et l'amélioration du système, les modifications et l'évaluation, la mise au banc d'essai de l'ordinateur VAX, la formation des utilisateurs et le salaire d'un gestionnaire pour l'ensemble du système.

Moins de trois mois après la première réunion du groupe d'élaboration, il fut établi qu'il faudrait définir les besoins fonctionnels de façon plus détaillée et plus spécifique qu'on ne l'avait prévu au départ. Par conséquent, la première action importante entreprise par l'équipe fut de préparer un document approprié sur les besoins fonctionnels (Beal et coll., 1977) conformément aux Guidelines on Computerized Laboratory Systems de l'ASTM Committee E31.

L'ordinateur PDP 11/34 a été remplacé en mars 1978 par un ordinateur PDP 11/60 de Digital Equipment sur lequel un système de programmes AWQUALABS a été mis au point à l'aide des logiciels RSX-11M, BASIC Plus 2 et RMS-11K.

Le premier véritable rapport d'analyse d'échantillons a été produit par le système en novembre 1979. La première phase de développement du programme a été terminée en octobre 1980. L'évaluation du système dans des conditions réelles devait se terminer en mars 1981. Toutefois, des demandes d'améliorations additionnelles soumises par le personnel du laboratoire ainsi que des problèmes liés à l'ordinateur ont retardé l'opération. L'évaluation permanente du système AWQUALABS et les exercices d'essai sur un système VAX 11/750 (prêté par Digital Equipment Corporation) nous ont amenés à remplacer l'ordinateur PDP 11/60 par un ordinateur VAX 11/750 en mars 1983. L'utilisation d'un ordinateur plus puissant améliora alors la performance du système par un facteur de dix au moins et donna aux utilisateurs un regain de confiance et de satisfaction.

COMPOSITION ET CONCEPTION DU SYSTÈME

Le matériel initial présenté au groupe de mise en application était constitué d'un mini-ordinateur PDP 11/34 Digital Equipment Corporation (DEC) avec deux unités de disques RK-05 (d'une capacité de 2.5 méga-octets chacune) et une mémoire centrale d'une capacité de 32K mots. Les logiciels disponibles étaient le RT-11, le FORTRAN et le BASIC interactif. Ce système constituait une amélioration par rapport au système utilisé par Digital Methods Ltd. lors de sa démonstration de faisabilité d'un système de saisie et de gestion de données pour chromatographes gazeux et auto-analyseurs, et il comprenait une interface Industrial Control System (ICS-11). L'acquisition du matériel avant que ne soient déterminés les besoins en applications, a imposé un certain nombre de contraintes importantes au groupe d'élaboration.

Ce groupe établit des critères de conception approximatifs et, vu le peu de fonds disponibles, jugea qu'on ne pouvait ajouter plus de huit lignes de terminal et une imprimante ligne par ligne au système. Il fut décidé de mécaniser plus tard la saisie des données fournies par deux spectrophotomètres d'absorption atomique (SAA) Perkin-Elmer modèle 403 et un certain nombre d'auto-analyseurs Technicon (AAT). On entreprit l'élaboration d'un logiciel de saisie de données simple utilisant le RT-11. Un simple coffret comportant un émetteur-récepteur asynchrone universel (ERAU) et un bloc d'alimentation fut conçu pour les SAA. Le dispositif recevait les données en parallèle par octet de l'imprimante et les envoyait à l'ordinateur en série par bit.

Toutefois, avec le temps nous en vinrent à la conclusion qu'un système de gestion de données et d'information complet avec le plus grand nombre possible d'appareils de laboratoire connectés à l'ordinateur serait préférable au système demandé au départ par l'administration. Tous les aspects courants des opérations de laboratoire furent donc évalués et examinés en vue de leur inclusion dans le système. Toutes les questions concernant les rapports, les calculs et le contrôle de la qualité furent prises en considération, ainsi que toutes les variables temporelles, y compris les conditions d'exécution. En conséquence, le document sur les caractéristiques fonctionnelles du système par Beal et coll. (1977) révélait une extension considérable de la portée du projet, celui-ci étant devenu une tentative d'informatiser complètement tous les aspects pratiques des opérations de laboratoire. Comme l'indique le tableau 1, la plupart des appareils à relier à l'ordinateur se trouvaient au 7e étage du CCEI et quelques autres au 5e étage. Les caractéristiques des rapports produits par le laboratoire sont décrites au tableau 2.

Un calcul simple basé sur le nombre d'échantillons traités chaque année et le délai prévu pour les résultats permit d'évaluer la capacité de mémoire sur disque nécessaire au stockage de ces résultats intermédiaires, ainsi que la puissance de traitement requise. Résultat du calcul : environ un ordre de grandeur de plus que pour la configuration du moment.

Autre aspect peu rassurant : la nécessité de faire fonctionner plusieurs appareils simultanément et en groupements variables. Ces exigences nous amenèrent à améliorer le système PDP 11/34 en utilisant des disques et une mémoire de plus grandes capacités et des lignes de communication additionnelles. Il était également évident qu'il fallait améliorer le logiciel car le RT-11 ne pouvait prendre

Tableau 1. Liste des appareils mentionnés dans le document sur les caractéristiques fonctionnelles du système et devant être reliés à l'ordinateur

Type	Marque	Modèle	Pièce	Quantité	Type d'interface	Commentaires
Spectrophotomètre d'absorption atomique	Perkin-Elmer	603	L736/L738	1	SN	
Spectrophotomètre d'absorption atomique	Perkin-Elmer	403	L736/L738	3	SN	Trois voies
Auto-analyseur	Technicon	II	L761	2	SN	Deux en phase 1
Processeur pour chromatographes gazeux	Spectra-Physics	4000	L771	1	SN	Capacité : 11 chromatographes
Analyseur CHN	Hewlett-Packard	185B	L761	1	S.O.	Données de sortie saisies manuellement
Analyseur de carbone automatisé	Technicon/Beckman	315/865	L761	1	Analogique	Deux voies
Spectrophotomètre UV			L510	1	SN	
Auto-analyseur	Technicon	II	L761	3	SN	Deux voies
Analyseur CHN	Hewlett-Packard	185A	L761	1	Analogique	Deux voies
Auto-analyseur	Technicon	II	L510	1	Analogique	Une voie
Spectrophotomètre d'absorption atomique	Perkin-Elmer	403	L510	1	SN	
Alcalinité totale	Beckman	865	L745	1	Analogique	
Auto-analyseur	Technicon	II	L745	1	SN	Trois voies
Auto-analyseur	Technicon	I	L745	1	Analogique	Deux voies du CSM-6
Spectroscope d'émission			L747 (non définitif)	1	SN	
Spectromètre de masse	Finnigan		L768	1	SN	
Analyseur Hg automatisé	Technicon/?		L510	1	Analogique	Une voie
Analyseur Cn automatisé	Technicon		L730	1	Analogique	Une voie
Nouveaux appareils ou appareils supplémentaires, à mesure qu'ils deviennent disponibles						

SN – Série-numérique.
S.O. – Sans objet.

en charge une mémoire d'une capacité supérieure à 28K mots. Nous avions besoin d'un système pour utilisateurs multiples.

À cette époque, il devenait courant pour les constructeurs d'inclure des mini et même des micro-ordinateurs dans leurs appareils d'analyse. Par conséquent, la plupart de ceux-ci étaient dotés d'une interface pour imprimante du genre télétype. Ceci se révéla être un grand bienfait pour l'intégration des appareils au système informatique AWQUALABS. Les données de sortie des appareils pouvaient être introduites directement dans le système, les appareils jouant le rôle de terminaux. Les données analogiques étaient transformées en caractères ASC II dans les

Tableau 2. Nature et fréquence des rapports à produire (rapports mentionnés dans le document sur les caractéristiques fonctionnelles du système)

Nom	Support	Longueur	Fréquence	Délai de production	Nombre de copies
Rapport de passage en machine	ILL	1-2 p.	35/jour	5 min	1
Rapport préliminaire d'analyse d'échantillons	ILL	1-2 p.	50/semaine	5 min	Nombre demandé
Rapport final d'analyse d'échantillons	ILL	1-2 p.	20/semaine	12 h	Nombre demandé
Rapport sur les contenants en cours d'analyse					
- récapitulatif	TT	2-20 lignes	20/jour	10 s	S.O.
- liste	ILL	1-2 p.	20/semaine	10 min	Nombre demandé
- matriciel	ILL	1-2 p.	20/semaine	10 min	Nombre demandé
Rapport sur les échantillons en cours d'analyse					
- récapitulatif	TT	4-20 lignes	20/semaine	10 s	S.O.
- matriciel	ILL	5-10 p.	20/semaine	1 h	Nombre demandé
Rapport sur les échantillons analysés	ILL	2 p.	5/semaine	1 h	1
Rapport sur la charge de travail du laboratoire	ILL	8 p.	1/mois	12 h	Nombre demandé
Indices du système de mesure de la performance des opérations (SMPO)	ILL	2 p.	2/semaine	1 h	1
Bande NAQUADAT	Bande magnétique à 9 pistes	S.O.	1-5 semaines, sur demande	7 jours	1
Bande STAR	Bande magnétique à 9 pistes	S.O.	1-5 semaines, sur demande	7 jours	1
Rapport sur l'utilisation des ressources					
- étude/projet	ILL	2 p.	>1/mois	12 h	1
- organisme	ILL	1 p.	>1/mois	12 h	1
Rapport sur les vérifications de contrôle de la qualité	ILL	2-10 p.	3/semaine	12 h	3
Listes et rapport récapitulatif sur les études et les projets	ILL	6-10 p.	5/semaine	10 min	Nombre demandé
Rapport de description sur les études et les projets	ILL	1 p.	120/année	12 h	≤4
Fichier des tâches	ILL	5-10 p.	3/jour	12 h	1
Rapport de contrôle sur les contenants d'échantillons	ILL	5 p.	1/jour	12 h	1
Rapport périodique du SP4000	TT	6 lignes	3/jour	10 s	S.O.

ILL – Imprimante ligne par ligne.
TT – Télétype.
S.O. – Sans objet.

appareils, de sorte qu'une partie des calculs était déjà effectuée lorsqu'elles étaient transmises au système AWQUALABS. Par conséquent, l'interfaçage des appareils avec les lignes de terminal fut considérablement simplifié.

Initialement, il était prévu d'élaborer le logiciel requis à partir de zéro tout en utilisant des logiciels déjà mis au point par DML et le Laboratoire régional de l'Atlantique de la DQE. Toutefois, le coût élevé de la mise au point sur place d'un logiciel nous a amenés à chercher une façon plus économique de procéder. Une foule de renseignements précieux fut obtenue en contactant ou en visitant plusieurs personnes et organismes au Canada et aux États-Unis et quelques autres en Angleterre. Au même moment, l'équipe examinait d'autres systèmes informatiques, y compris ceux de Hewlett-Packard et de Data General, en tentant de profiter au maximum de la technologie de pointe pour obtenir une solution optimale. Après avoir examiné les systèmes disponibles, leurs coûts et leurs caractéristiques, nous décidâmes d'utiliser l'ordinateur PDP 11/34 amélioré au moyen de dispositifs supplémentaires, mais en ayant recours aux systèmes d'exploitation RSX-11M et au RMS-11K.

Peu après, le vendeur de DEC nous offrit un autre système. Nous pouvions améliorer notre système en l'échangeant pour un nouvel ordinateur plus puissant, le PDP-11/60 avec une mémoire d'une capacité de 64K mots et deux unités de disques RK06, donnant une capacité de stockage totale de 32 méga-octets. Le système d'exploitation RT-11 devait en même temps être remplacé par le nouveau système multitâche RSX-11M. De plus, un outil de manipulation de données appelé «Datatrieve» était disponible, et les résultats d'études préliminaires par les membres de l'équipe d'élaboration du système AWQUALABS étaient concluants. Cet ensemble serait une addition utile durant l'élaboration du logiciel car la production de rapports préliminaires et l'exploration de la base de données pourraient être effectuées facilement; une fois définies, la présentation des rapports et la méthode de recherche pourraient être recodées dans des programmes particuliers. Par ailleurs, les rapports en un exemplaire pourraient être produits facilement et la tenue des fichiers, lorsqu'il n'y a que des problèmes sans gravité, serait simplifiée.

Toutefois, le progiciel Datatrieve se révéla moins utile que prévu. Les structures de données du système AWQUALABS étaient beaucoup trop complexes à définir pour la version du progiciel reçue initialement (bien que la version courante soit assez appropriée) et l'espace en mémoire nécessaire à son utilisation grevait fortement les ressources.

En attendant la livraison de l'ordinateur PDP 11/60, nous fîmes l'acquisition du nouveau progiciel constitué des logiciels RSX-11M, BASIC et RMS-11K que nous utilisâmes avec l'ordinateur PDP 11/34. En raison de la compatibilité du progiciel avec les deux ordinateurs, les travaux d'élaboration furent peu perturbés lors de la transition d'un ordinateur à l'autre.

Le groupe prit à ce moment une décision qui eut par la suite des conséquences à la fois positives et négatives pour le projet. Il fut décidé de n'avoir recours qu'à des logiciels utilisant le même langage évolué. Ceci rendait le système transférable sur d'autres ordinateurs, avec un minimum d'interruptions et de redéveloppement, si jamais il était nécessaire un jour d'avoir recours à des machines plus puissantes. De ce point de vue, la décision était sensée. Cependant, le choix du langage BASIC s'avéra finalement discutable. Au départ, ce choix semblait judicieux car (1) le langage BASIC était utilisable avec la plupart des machines sur le marché; (2) le système de gestion de données disponible pour l'ordinateur PDP-11 était le RMS-11K, un système séquentiel indexé très performant n'utilisant que le langage BASIC comme langage d'interfaçage évolué; et (3) il fallait aussi utiliser le logiciel RMS-11K avec le manipulateur de données Datatrieve.

On constate aujourd'hui que le langage BASIC existait en plusieurs versions différentes et l'utilisation du logiciel RMS-11K pour l'organisation de la mémoire nous amena à utiliser, pour le langage, des extensions DEC qu'il aurait été impossible d'utiliser avec des ordinateurs d'autres marques. L'un des aspects positifs du langage BASIC est son utilisation d'une version compilée et sa vitesse de codage relativement grande. Par ailleurs, la taille des modules créés, par suite de l'adjonction de la bibliothèque RMS-11K, a eu un effet négatif sur la performance de système (il n'y avait pas à ce moment-là de bibliothèques partagées disponibles pour le RMS-11K). En raison de la taille excessive des programmes, un seul de ceux-ci pouvait être passé en machine à la fois sans que le superviseur ne consacre trop de temps à échanger les diverses tâches.

DEC finit par admettre qu'une capacité de 64K mots était insuffisante pour nos besoins, en dépit du fait que nous lui avions demandé, avant de faire l'acquisition de l'ordinateur, de nous informer de la composition qu'il nous faudrait pour satisfaire à nos besoins fonctionnels. Il a alors fallu faire l'acquisition d'un module supplémentaire d'une capacité de 64K mots, ce qui changea complètement la performance de système : de piètre qu'elle était à cause de la faible capacité de la mémoire, elle devint subitement remarquable.

Bien que la décision fût logique au moment où elle fut prise, le langage «C» aurait peut-être été un meilleur choix. Il nous aurait fallu élaborer notre propre système de stockage de données, mais nous aurions obtenu une plus grande efficacité de stockage et une meilleure performance. Nous aurions évité l'utilisation excessive de temps système par le RMS-11K en langage BASIC en élaborant des interfaces appropriées au langage «C».

MATÉRIEL SPÉCIAL DU SYSTÈME

Tel qu'il est mentionné dans la publication *AWQUALABS Special Hardware Handbook Notes* (Harrison, 1982), les préoccupations principales des concepteurs du système AWQUALABS étaient d'utiliser les matériels et interfaces standard autant que possible et de simplifier l'architecture globale du système. Il fut décidé d'avoir surtout recours à la transmission de données numériques série dans le système car la plupart des appareils peuvent facilement être adaptés à cette technique grâce aux interfaces disponibles. Le schéma synoptique du matériel du système conçu alors est représenté à la figure 1. Il donne un aperçu du fonctionnement du système à son stade initial. Comme nous l'avons dit précédemment, des changements organisationnels ont entraîné depuis lors un certain nombre de modifications importantes à l'agencement.

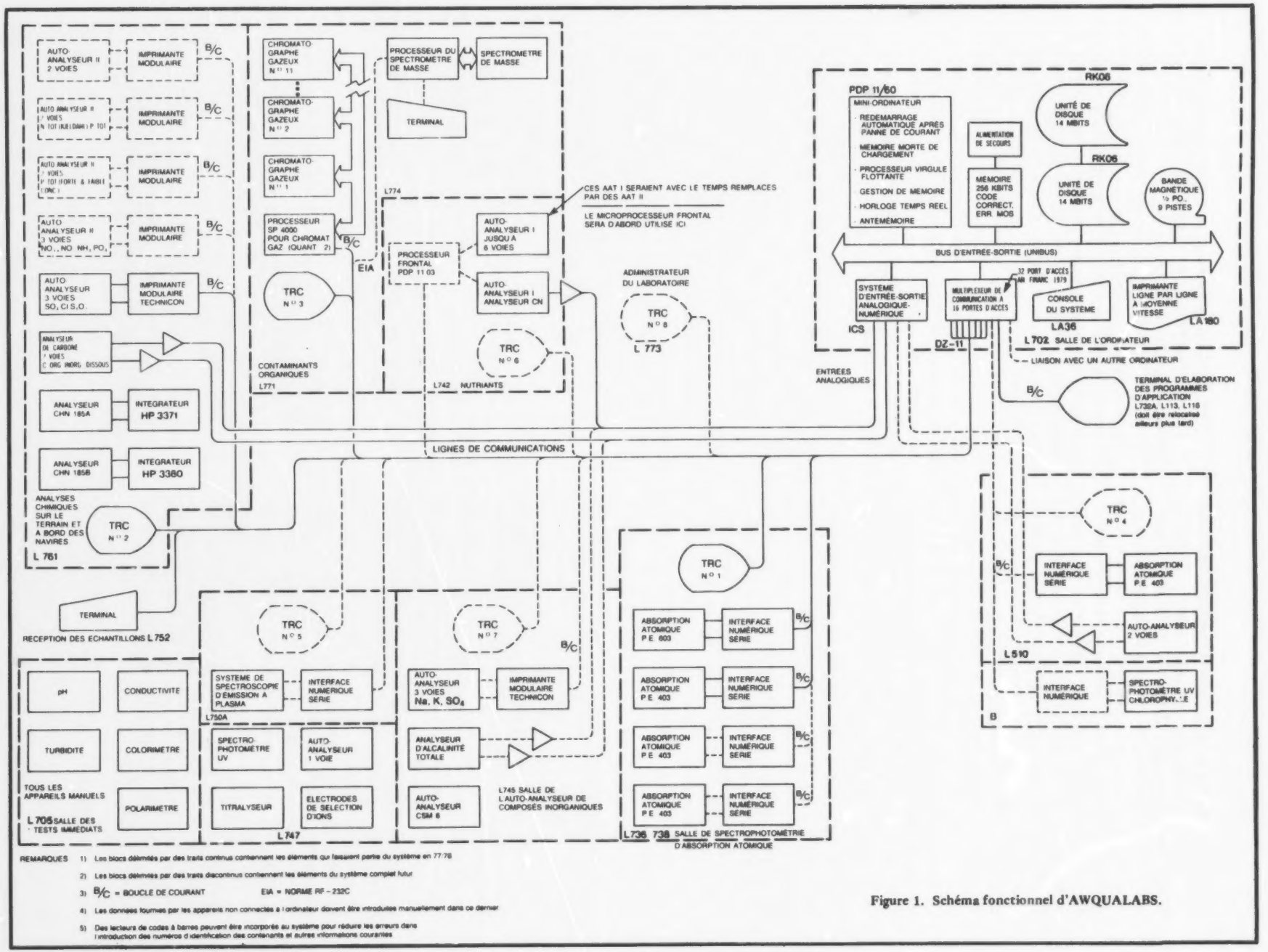
Tous les postes de travail devaient avoir deux liaisons avec l'ordinateur, l'une pour l'appareil et l'autre pour le terminal de l'analyste. Des «boîtes bleues» furent placées dans la plupart des laboratoires et des câbles furent posés dans les caniveaux. Dans la salle de l'ordinateur, ces câbles arrivaient à un rack distinct comportant un tableau de connexion permettant la reconfiguration des lignes. Les panneaux de connexion des interfaces de communication DX-11 étaient montés sur le rack, ainsi que le sous-système ICS-11. La facilité d'accès à ce rack simplifiait les tests et le recâblage.

Toutes les communications à l'intérieur du système se faisaient par boucles de courant de 20 milliampères à quatre fils, les appareils se comportant en éléments passifs. Ceci est dû au fait que le câble de connexion EIA RS-232C n'a qu'une longueur de 25 pieds. Les distances à câbler dans les laboratoires étant beaucoup plus grandes, nous avons eu recours à des interfaces à boucles de courant, lesquelles peuvent être beaucoup plus longues. Un câble Belden standard comportant deux quartes à blindages individuels et une paire de conducteurs non blindée dans une gaine en vinyle s'avéra idéal pour les connexions. L'une des quartes pouvait être utilisée pour l'appareil, l'autre pour le terminal, et les conducteurs non blindés servaient de ligne d'intercommunication avec la salle de l'ordinateur afin de faciliter les tests. On utilisa quelque 1800 m de ce type de câble au cinquième et au septième étage de l'immeuble.

Une fois choisies les interfaces à boucles de courant, il fallait choisir les terminaux. Le choix du groupe se porta sur le terminal Hazeltine modèle 1500 car celui-ci était le moins cher, offrait une interface à boucles de courant utilisable à 19 200 bauds et était doté d'un clavier numérique pour la saisie des données. Tous les terminaux utilisés dans les laboratoires devaient être identiques pour éviter les problèmes qui pourraient survenir si on utilisait des claviers à présentations différentes.

Nous avons examiné la suggestion d'utiliser des lecteurs de codes à barres pour introduire dans l'ordinateur les données d'identification des échantillons. Avec cette méthode, il fallait fixer des étiquettes d'identification codées à chaque contenant d'échantillon et connecter des lecteurs de codes à barres à chaque terminal. Les numéros d'échantillon étaient lus au moyen d'un crayon-lecteur, ce qui éliminait les erreurs de frappe. De plus, on pouvait obtenir des feuilles d'information codée dont le texte aurait autrement nécessité une dactylographie répétitive et plus sujette aux erreurs (instructions de passage de programmes en machine, noms de paramètre, etc.). Dix lecteurs de codes à barres furent achetés et connectés aux terminaux. Cette méthode était valable, mais en raison du caractère expérimental du projet, les formats de numéro d'échantillon et les messages d'entrée d'un programme étaient fréquemment modifiés; c'est pourquoi on renonça finalement à utiliser les lecteurs de codes à barres. Par ailleurs, l'utilisation d'un programme de saisie à incrément automatique numérotant automatiquement les échantillons l'un après l'autre se révéla une solution satisfaisante. À ce stade du développement, la configuration du matériel devint plus ou moins figée. On savait qu'il faudrait ajouter de nouveaux appareils et retirer les appareils désuets. La décision de réaliser toutes les interfaces au moyen de lignes de communication permit de connecter sans difficulté une gamme étendue de dispositifs pour transmettre les données. Il suffisait d'établir un nouveau programme ou de modifier un programme existant, ce qui ne posa aucune difficulté.

Durant la phase de développement du système AWQUALABS, il y a eu de nombreux changements, tant dans les types que dans les emplacements des appareils de laboratoire. Par exemple, la plupart des imprimantes modulaires utilisées avec les auto-analyseurs Technicon ont été remplacées par des systèmes de données Pulsar Electronics. Ces machines peuvent effectuer les transmissions de détection de crêtes, d'étalonnage et de données pour trois voies



REMARQUES
1) Les blocs délimités par des traits continus contiennent les éléments qui faisaient partie du système en 77-78
2) Les blocs délimités par des traits discontinus contiennent les éléments du système complet futur
3) B/C = BOUCLE DE COURANT EIA = NORME RF - 232C
4) Les données fournies par les appareils non connectés à l'ordinateur doivent être introduites manuellement dans ce dernier
5) Des lecteurs de codes à barres peuvent être incorporés au système pour réduire les erreurs dans l'introduction des numéros d'identification des contenants et autres informations courantes

Figure 1. Schéma fonctionnel d'AWQUALABS.

et se sont révélées plus fiables que les machines Technicon, lesquelles utilisent des relais à contacts mouillés au mercure pour les transmissions par télétype à 110 bauds. La modification du programme pour ces nouvelles machines a été relativement simple à effectuer, mais nous avons éprouvé certaines difficultés dans le téléchargement des fichiers compartimentés des analystes fonctionnels. Nous avons décidé d'utiliser une méthode où le numéro choisi pour l'échantillon était celui de sa position et où l'ordinateur était chargé de maintenir par la suite la relation établie. Un programme spécial appelé PULSAR a été élaboré pour transmettre l'information sur les échantillons à l'unité PULSAR, et transmettre à l'ordinateur les résultats d'analyse des échantillons. Une fois établi le système de communication entre les dispositifs VAX et Pulsar, l'utilitaire fut complété et utilisé dans une période de temps relativement brève.

Au cours de la phase de développement du système AWQUALABS, on s'aperçut très tôt qu'il faudrait une meilleure méthode de traitement de l'information sur les échantillons analysés à bord des navires. Ces analyses chimiques étaient traditionnellement effectuées au moyen d'auto-analyseurs Technicon reliés à des imprimantes automatiques (Philbert et coll., 1976). Les résultats étaient ensuite traités et transcrits manuellement sur divers formulaires de rapport, ou introduits dans l'ordinateur à l'aide d'un terminal.

Le processus a été automatisé au moyen d'un micro-ordinateur Hewlett-Packard 85 (HP-85). Le système de saisie de données sur navire (SSDN) que l'on obtient alors est portatif et collecte, stocke ou communique sur une imprimante incorporée les résultats d'analyse et l'information connexe. Le système est piloté par menus et met automatiquement à jour l'information prévisible, comme les numéros séquentiels d'échantillon et de station. Les résultats d'analyse et l'information connexe sont enregistrés sur cassette de bande magnétique. À la fin de chaque relevé, le calculateur du SSDN est retourné au laboratoire principal et connecté à l'ordinateur du système AWQUALABS pour initialiser les échantillons et saisir les données directement. Le SSDN entre automatiquement en communication avec l'ordinateur du système AWQUALABS, crée les fichiers, transfère les données et lance un programme pour initialiser les échantillons et mettre à jour la base de données.

Le programme qui permet au système HP-85 de communiquer avec la base de données a été facilement mis au point et fournit une méthode exempte d'erreurs pour le stockage et le transfert des données. On trouvera ailleurs (Ford, 1984) une représentation schématique du système avec ses caractéristiques.

En 1979, le laboratoire a fait l'acquisition d'un spectromètre à plasma d'argon à couplage inductif (SPACI) Applied Research Laboratories (ARL) équipé d'un ordinateur DEC PDP 11/04. Après certaines améliorations par ARL, le système a pu produire le type de rapport désiré par le laboratoire. ARL a aussi élaboré un logiciel permettant au système de données de communiquer avec le logiciel AWQUALABS. Malheureusement, certaines caractéristiques du système de communication désiré (le protocole de «contrôle par échos» PULSAR) ne furent pas communiquées à ARL qui nous livra un logiciel avec un protocole difficile à utiliser avec le langage BASIC sur l'ordinateur VAX. Des conseillers extérieurs familiarisés avec l'ordinateur VAX et le système d'exploitation VMS furent engagés par contrat pour examiner le problème et lui trouver une solution. Ils devaient aussi examiner l'interfaçage par logiciel d'un autre SPACI ARL acquis en 1985.

À cette occasion, les conseillers identifièrent et résolurent un certain nombre de problèmes de transmission de données :

i) Les SPACI ne pouvaient accuser réception des signaux de l'unité «en ligne»/unité «hors ligne» dans les communications avec l'ordinateur VAX. Celui-ci fut réglé en conséquence.

ii) Il est très peu probable qu'un SPACI ait à transmettre un paquet de données d'une taille supérieure à 1000 octets. Il a suffi de changer de 256 à 1024 octets la capacité des tampons à frappe continue des terminaux de l'ordinateur VAX pour se protéger contre les pertes de données.

iii) L'ancien SPACI ne pouvait capter les signaux de prise de contact lorsqu'il mémorisait l'article de données suivant à traiter, alors que la transmission des données aurait dû avoir la priorité. Ce problème fut résolu en introduisant un retard dans l'utilitaire SPACI dans le cas de l'ancien appareil. Ce retard est automatiquement annulé lorsque l'utilitaire est en communication avec le nouveau SPACI.

iv) D'après la documentation fournie par le constructeur, les calculs du total de contrôle dans l'ancien et le nouveau SPACI sont censés être identiques, mais nous avons découvert que ce n'était pas le cas. L'ancien SPACI fut modifié de façon à rendre ces calculs identiques.

Les conseillers élaborèrent un utilitaire à ordres de gestion numériques capable de saisir les données fournies par les deux SPACI et, par conséquent, de les introduire directe-

ment dans des fichiers compartimentés prêts à être traités par le système AWQUALABS. Cet utilitaire donne une grande souplesse à l'utilisateur. L'analyste peut choisir de ne pas tenir compte ou d'utiliser l'information transmise par les SPACI. L'analyste n'a pas à se préoccuper de la position de l'information dans les fichiers compartimentés car l'utilitaire se charge de positionner correctement les données dans ces fichiers. Il n'est même pas nécessaire de prédéfinir les fichiers compartimentés car l'utilitaire peut créer ces derniers au fur et à mesure qu'ils deviennent nécessaires.

LE LOGICIEL

Étant donné que le système AWQUALABS devait prendre en charge plusieurs tâches simultanément, y compris la saisie des données, la production des rapports et la mise à jour de la base de données, les fonctions multitâches du logiciel RSX-11M se révélèrent très utiles. Il était possible de classer les tâches par priorité pour que la saisie des données ne soit pas gênée par la mise à jour de la base de données, opération secondaire et moins urgente. Du moins, c'est ce que nous pensions... De fait, l'emballement du système durant l'exécution des tâches du RMS-11K perturba sa performance en temps réel. On tenta de résoudre le problème de diverses façons, mais celui-ci avait des racines profondes. Finalement, nous décidâmes que certaines opérations ne devaient être effectuées que durant la nuit. Des problèmes surgirent lorsque nous avons tenté de mettre nos programmes au point en même temps que les opérations de laboratoire et il a fallu harmoniser les horaires de travail entre le personnel du laboratoire et les concepteurs des programmes. Ceci ne fut pas facile, mais était malheureusement nécessaire. Peu après l'apparition de ces problèmes, la mise sur le marché d'une nouvelle version du RSX-11M élimina une grande partie des difficultés que nous avions éprouvées. Toutefois, en raison de l'ampleur prise par la partie superviseur du 11M, nous disposions alors d'un espace d'adresse plus restreint pour les tâches des utilisateurs. Nous pouvions conserver la version ancienne du 11M avec ces problèmes d'horaire, ou adapter un grand nombre de nos programmes à la nouvelle version et simplifier par le fait même le problème des horaires. Nous avons choisi cette dernière solution et le rendement de l'ordinateur s'améliora. Toutefois, le système se mit à s'arrêter sans raison apparente. La seule cause possible semblait être le chargement, de sorte que nous fûmes de nouveau forcés de faire exécuter certaines opérations particulières durant certaines périodes de la journée.

Cette situation insatisfaisante finit par s'adoucir avec l'apparition de nouvelles versions du logiciel 11M, lesquelles résolurent les problèmes internes du système d'exploitation. Néanmoins, les améliorations promises ne se sont pas concrétisées et les analystes trouvèrent plus facile d'utiliser un crayon et un bloc-notes.

Une fois les problèmes internes résolus ou atténués, l'élaboration du logiciel progressa. L'information qui nous fut retransmise par l'utilisateur nous amena à reformuler certaines tâches et à en amplifier certaines autres. De nouvelles tâches furent élaborées et essayées sans interruption des informations retransmises par les utilisateurs. Le système devenait fonctionnel et utile pour les utilisateurs.

La structure de base du système étant établie et les tâches d'application prenant forme rapidement avec la fonctionnalité requise, les utilisateurs reprirent confiance dans un système qui les avait déçus en ne fonctionnant pas correctement. Mais malgré le renouveau d'intérêt manifesté par les analystes, il restait le problème agaçant de la déficience de la performance globale de l'ordinateur face aux opérations de laboratoire. Le système était toujours astreint à certaines tâches, à des périodes particulières de la journée. Le personnel du laboratoire pouvait s'adapter à l'horaire des opérations, mais cet arrangement était insatisfaisant.

LA SOLUTION FINALE

L'analyse de la performance du système révéla un fait important : le grand nombre de manipulations de disque dans l'exploration des fichiers constituant la base de données. Les solutions proposées, qui étaient basées sur l'acquisition d'un ordinateur PDP-11 plus puissant, avaient toutes la même faiblesse : l'espace adresse disponible en mémoire pour une tâche donnée était restreint comparé à l'espace de données exploré. Il n'était pas possible de résoudre le problème à l'aide d'une architecture PDP-11. Nous étant rendu compte des limites de cet ordinateur, limites rendues plus évidentes par notre système, nous en sommes venus à la conclusion que les ordinateurs de la série VAX de DEC seraient des instruments appropriés pour la voie d'évolution. En raison de la grande capacité de la mémoire centrale (environ 2 mégaoctets dans le premier système), de grandes sections des parties les plus souvent utilisées de la base de données restaient dans les mémoires tampons et une grande partie des recherches de données aboutissait immédiatement aux données déjà dans les mémoires tampons sans nécessiter de manipulations de disque. La réduction du nombre des manipulations de disque accéléra grandement l'exécution de toutes les tâches.

Nous avons décidé de remplacer le PDP-11/60 par un VAX-11/750, mais en spécifiant une configuration iden-

tique à celle prévue à l'origine afin d'éviter toute limitation ultérieure de la performance. Deux faits importants sont à signaler :

1) la conversion des programmes rédigés en BASIC pour les utiliser avec le système d'exploitation VMS sur l'ordinateur VAX fut très simple et

2) l'amélioration de la performance du système fut beaucoup plus grande que nous ne l'avions prévu.

En fait, nous sommes convaincus que le groupe de maintenance et de développement aurait pu utiliser l'ordinateur en simultanéité sans que les analystes du laboratoire s'en rendent compte.

Lors de la mise au banc d'essai, nous avions demandé que certaines lignes de communication d'appareil soient alimentées à la fréquence d'échantillonnage maximale à leurs débits respectifs (4 lignes à 1200 bauds, avec échantillonnage sur chacune à intervalles de 10 secondes et 8 lignes à 300 bauds, avec échantillonnage sur chacune à intervalles de 20 secondes) pour simuler l'utilisation de 16 auto-analyseurs Technicon à trois voies et de 4 SAA. De plus, deux de nos applications de base de données les plus accaparantes et plusieurs autres tâches diverses devaient être exécutées simultanément. La perte d'une donnée quelconque en temps réel aurait été considérée comme une défaillance. Le banc d'essai dura deux heures et aucune défaillance ne fut détectée. Pour évaluer le nombre maximal d'appareils que l'on pourrait relier au système en cas d'expansion future, nous avons augmenté graduellement le débit dans les lignes. Le débit maximal fut finalement atteint dans toutes les lignes (12 lignes à 9600 bauds) et nous avons fait fonctionner le système à ce régime pendant 15 minutes sans constater de pertes de données. Nous estimons que la capacité du système est de 15 à 20 fois celle du PDP-11/60 pour notre application. Il n'en fallait pas plus pour nous convaincre!

De légères modifications à la salle des machines ont dû être effectuées pour y installer ensemble le PDP-11/60 et le VAX-11/750 durant la période de transition. Nous n'avons eu aucun problème avec l'alimentation (le PDP 11/60 est alimenté par secteur triphasé 208 V et le VAX par secteur monophasé 110 V), ni avec la climatisation (le VAX dégage moins de chaleur que le PDP-11/60).

Vu sa grande capacité, la configuration actuelle du VAX permet d'ajouter des applications imprévues. Cependant, nous sommes conscients du fait qu'à cause des besoins opérationnels du laboratoire, ces applications imprévues pourraient être abandonnées ou nécessiter le recours à une machine plus puissante.

En 1984, la structure de la base de données fut modifiée considérablement et les programmes en BASIC furent modularisés à la même occasion. Ceci était nécessaire pour faciliter les modifications ultérieures. Il y a maintenant 93 programmes en langage BASIC qui sont disponibles au personnel de laboratoire, de surveillance et de maintenance.

CONCLUSIONS

Nous avons réussi à concevoir et à mettre au point un système informatisé de saisie et de gestion de données pour un laboratoire d'analyse chimique de l'eau bien équipé. Durant la période de huit ans où nous avons mis au point et amélioré ce système, nous avons acquis une grande expérience qui pourra probablement être très utile à d'autres. Le système est maintenant complètement opérationnel et, d'après une enquête récente sur les résultats obtenus par les utilisateurs, il semble qu'il réponde à presque tous les besoins actuels du laboratoire. Vu la nature dynamique des opérations de laboratoire, les applications du système AWQUALABS varient selon les besoins. La souplesse de ce système nous a permis de répondre à ces besoins de façon satisfaisante tout au cours de sa période de développement et de mise au point. Nous avons eu plusieurs problèmes à résoudre durant cette période, mais l'utilisation de machines (PDP 11/34, 11/60 et VAX) compatibles à voie d'évolution simple nous a permis de mettre au point un système de plus en plus perfectionné.

REMERCIEMENTS

Comme il n'est pas possible de nommer toutes les personnes ayant contribué à la planification et au développement du système AWQUALABS, nous désirons remercier toutes celles qui ont pu nous aider. Nous désirons remercier plus particulièrement pour leur contribution les personnes suivantes qui, au cours du projet, ont fait partie du groupe d'élaboration :

R. Bingham
P. Brooksbank
H. Clignett (décédé)
J.A. Coburn
R.J. Desrosiers
M. Duffield
B. Hanson
E.J. Harrison
J. Hodson
R.C.J. Sampson

J.A. Coburn et R.C.J. Sampson ont tenu des rôles clés dans la surveillance de la mise au point du système. R.C.J. Sampson a de plus fourni des renseignements à jour pour cet article.

Nous sommes reconnaissants pour l'appui ou les conseils que nous avons reçus d'autres personnes, dont S.H. Whitlow, G.K. Rodgers, J.S. Ford, A.S. Watson, J. Rogalsky, et R. Duffield. Par ailleurs, tous les représentants de Digital Equipment of Canada Ltd. que nous avons rencontrés, Ian McKinnon particulièrement, furent très coopératifs. Finalement, nous désirons remercier le personnel du laboratoire de la Direction de la qualité des eaux à Burlington pour ses critiques constructives, sa coopération et sa patience.

RÉFÉRENCES

Beal, G.S., P. Brooksbank, J. Dowell, E.J. Harrison, et F.J. Philbert. 1977. Functional requirements for the Automated Water Quality Analytical Laboratory System (AWQUALABS). Environnement Canada, CCEI, Burlington (Ontario), septembre 1977. Non publié.

Demayo, A. 1976. Functional specifications for a computerized laboratory system for Water Quality Branch Laboratory – Ontario Region. Rapport non publié préparé pour le ministère des Pêches et de l'Environnement en vertu du contrat nº K!.-210-6-1798.

Digital Methods Ltd. 1974. Study report – Water Quality Laboratories Analytical Data System, décembre 1974. Rapport non publié préparé pour la Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa.

Digital Methods Ltd. 1975. Laboratory Instrument Data Processing Study, Vol. 1-5, octobre 1975. Rapport non publié préparé pour le Service de la gestion de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa.

Digital Methods Ltd. 1976. Laboratory instrument data processing – demonstration at the Canada Centre for Inland Waters, Burlington (Ontario), 20-22 avril 1976. Rapport non publié préparé pour le Service de la gestion de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa.

Ford, J.S. (rédacteur). 1984. Shipboard logger for chemical analyses. Dans Prototype Designs for Surveys and Measurement in an Aquatic Environment, Division de l'hydraulique, Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario), Série de publications de la Direction générale des eaux intérieures – Contribution 84-25 de l'INRE.

Harrison, E.J. 1982. AWQUALABS Special Hardware, Handbook Notes. Division de l'hydraulique, Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario). Non publié.

Philbert, F.J., J.E. Dowell, J. Hodson, et G.S. Beal. 1987. Système informatisé de saisie et de gestion de données d'analyse de la qualité de l'eau en laboratoire (AWQUALABS). Étude nº 149, Collection des rapports techniques, Direction générale des eaux intérieures et des terres, Direction de la qualité des eaux, région de l'Ontario, Burlington (Ontario).

Philbert, F.J., O. Elkei, W.D. Blythe, et Y.M. Sheikh. 1976. Applicability of the Technicon AutoAnalyzer I and II systems for shipboard analysis of Great Lakes water samples. Étude nº 93, Collection des rapports techniques, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, région de l'Ontario, Burlington (Ontario).